

地球物理勘查技术在矿山深部找矿中的具体运用

赵 健, 赵继丹

山东省煤田地质局第五勘探队, 山东 济南 250100

摘 要: 随着浅部矿产资源的日益枯竭, 深部找矿成为矿产勘查的重要方向。地球物理勘查技术因其高效、经济、无损的特点, 在矿山深部找矿中得到了广泛应用。本文探讨了几种主要的地球物理勘查方法, 包括重力勘探、磁法勘探、电法勘探和地震勘探, 并结合山东地区典型矿床实例分析其在矿山深部找矿中的具体应用效果。通过综合运用地球物理方法可有效提高深部找矿的成功率, 为矿产资源的合理开发提供科学依据。

关键词: 地球物理勘查; 深部找矿; 矿产资源; 山东矿床

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1002-5065(2025)13-0043-3

The Specific Application of Geophysical Exploration Technology in Deep Mining Exploration

ZHAO Jian, ZHAO Ji-dan

The Fifth Prospecting Team of Shandong Coal Geology Bureau, Ji 'nan 250100, China

Abstract: With the increasing depletion of shallow mineral resources, deep mineral exploration has become an important direction for mineral exploration. Geophysical exploration technology has been widely used in deep mining exploration due to its high efficiency, economy, and non-destructive characteristics. This article explores several main geophysical exploration methods, including gravity exploration, magnetic exploration, electrical exploration, and seismic exploration, and analyzes their specific application effects in deep mining exploration by combining typical mineral deposit examples in Shandong region. The comprehensive application of geophysical methods can effectively improve the success rate of deep mineral exploration and provide scientific basis for the rational development of mineral resources.

Keywords: geophysical exploration; Deep mineral exploration; Mineral resources; Shandong mineral deposit

全球矿产资源勘查正从浅部向深部拓展, 而传统的地质填图、地球化学勘查在深部找矿中的应用受限。地球物理勘查技术因其能够探测地下矿体的物性差异成为深部找矿的有效手段。山东地区是我国重要的金矿和铁矿资源分布区, 近年来深部找矿工作取得了显著进展。本文结合山东地区的典型矿床案例分析地球物理勘查技术在矿山深部找矿中的具体应用, 探讨不同勘探方法的适用性和勘查效果, 为深部找矿提供借鉴。

1 地球物理勘查技术概述

1.1 重力勘探

重力勘探是一种基于地下岩石和矿体密度差异的地球物理勘探方法。通过测量地球重力场的微小变化可推测矿体的赋存情况。高密度矿体, 如铁矿、铅锌矿等会产生正重力异常, 而低密度矿体可能形成负异常。该方法适用于铁矿、铅锌矿、铜矿等硫化物矿床以及部分岩浆型矿床(如镍矿、铂族矿), 尤其适合地层均一、覆盖层较薄的地区以减少地质因素对重力异常的干扰。在山东某铁矿采用高精度重力测量后发现了高密度异常区, 经钻探验证该区域确实存在富矿体, 提高了找矿精度。在山东某铜矿的勘查中, 重力测量结合可控源音频大地电磁测深(CSAMT)技术, 先圈定高密度异常区再通过电法验证, 提高了找矿的准确性, 最终钻探

证实了矿体的存在。重力勘探的优势在于适用于高密度矿体, 勘探深度较大, 能够快速圈定找矿靶区并在大规模区域勘查中发挥重要作用。然而该方法对低密度差异矿体不敏感且易受地形、地下水等因素影响, 因此通常需与磁法、电法等方法联合使用以提高找矿的可靠性和精度。总体来看重力勘探在山东深部找矿中具有重要应用价值, 特别适用于铁矿和硫化物矿床的勘查。结合多种地球物理方法可进一步提升找矿精度, 为矿产资源的深部勘探和合理开发提供技术支撑。

1.2 磁法勘探

磁法勘探是一种基于地下岩石和矿体磁性差异的地球物理勘探方法。通过测量地球磁场的变化可识别磁性矿体的分布情况。铁矿、磁黄铁矿等富磁性矿床在地球磁场中会产生异常, 使得磁法勘探能够有效识别地下矿体。该方法适用于铁矿、镍矿等磁性矿床, 尤其适用于寻找受断裂构造控制的磁性矿体能够提供矿体的空间分布信息。在山东某铁矿的勘探中采用航空磁测与地面磁测相结合的方式, 首先通过航空磁测快速圈定区域内磁异常, 再利用地面磁测精细测定异常中心从而推测矿体的规模和位置。最终钻探结果证实了矿体的存在, 提高了找矿精度。磁法勘探的优势在于测量速度快、覆盖范围广, 适用于大规模区域调查并能够提供矿体的埋藏深度、形态等信息。然而该方法对非磁性矿体无效易受地表磁性干扰影响, 需要结合其他地球物理方法进行综合勘探。总体来看磁法勘探在山东地区的深部铁矿、镍矿等找矿工作中发挥了重要作用, 为矿产资源的深部勘探提供了有效的技术支持。

1.3 电法勘探

电法勘探是一种基于地下岩石和矿体电导率差异的地

收稿日期: 2025-04

作者简介: 赵健, 男, 生于1992年, 山东滨州人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 地球物理、地质勘探、测井资料处理与解释等相关工作。

球物理勘探技术。矿体的电导率受矿物成分、含水量和围岩性质的影响,导电性较强的矿体(如硫化物矿床、石墨矿床)在电法勘探中表现为明显的异常而电阻率较高的矿体(如某些金矿和非金属矿)则通常表现为低导电异常。电法勘探主要包括直流电法、电磁法和可控源音频大地电磁测深(CSAMT)等方法,在深部找矿中具有广泛应用。在山东某金矿的勘探中研究人员采用可控源音频大地电磁测深法(CSAMT),利用人工电磁波探测地下电导率异常区^[1]。结果显示某区域存在显著的导电异常,经钻探验证该异常区富含金矿化体,证明了CSAMT方法在深部金矿勘探中的有效性。另外在山东某铜矿的找矿工作中激发极化法被用于识别硫化物矿体,电法探测结果准确圈定了铜矿的赋存范围指导了后续钻探工作。电法勘探的优势在于适用于导电性矿体,如硫化物矿床、铜矿、金矿等,且对隐伏矿体和深部矿床具有较好的探测能力。但是,该方法容易受到地表含水层、电性层变化等因素的影响导致数据解释复杂性增加。另外电法勘探的分辨率受勘探深度和电极布置的影响,因此通常需要与重力、磁法等手段结合使用以提高找矿的可靠性和精度。

1.4 地震勘探

地震勘探是一种利用人工激发地震波并分析其传播特性来研究地下地质构造的勘探技术。其基本原理是根据地震波在不同地质介质中的传播速度和反射特征探测地下岩层的结构、断裂带和矿体赋存情况。由于矿体通常与围岩存在弹性波速度差异,地震勘探能够识别矿体与围岩的界面,尤其适用于寻找受断裂构造控制的矿床,如金矿、铅锌矿和某些层控矿床。在山东某金矿深部找矿过程中研究人员,采用反射地震勘探技术成功识别出控制矿体的主要断裂带。该方法通过分析地震波在地下的反射和折射情况,圈定了矿体所在的构造带并精确预测了矿体的空间展布情况。后续钻探验证表明该断裂构造确实控制了深部金矿的富集,为找矿提供了重要依据。另外在某铅锌矿区,采用折射地震勘探对地下断裂构造进行研究,成功确定了矿体的赋存位置为后续矿体勘探提供了关键参考。地震勘探的优势在于适用于复杂地质构造区,能够提供深部矿体的构造信息,并对隐伏矿床的空间展布进行精确预测。特别是在金矿、铅锌矿等受断裂构造控制的矿床中,地震勘探能够有效识别控制矿化的断裂系统提高找矿成功率^[2]。但是地震勘探的局限性在于数据处理复杂,解释难度较大并且勘探成本较高,通常适用于高价值矿产资源的深部勘查。另外由于地下岩性变化可能导致地震波信号干扰,该方法需要与其他勘探手段(如电法、重力勘探)结合以提高解释的准确性。

2 地球物理勘查技术在山东深部找矿中的应用案例

2.1 山东三山岛金矿深部找矿应用

三山岛金矿位于山东省胶东半岛,是中国重要的金矿床之一。自2006年起,山东省地矿局第六地质大队在该矿区启动了深部找矿工作,勘探深度从500m逐步推进至1000m乃至2000m,取得了显著成果。在深部找矿过程中地质队采用了多种先进的地球物理勘探技术。通过对三山岛

矿区不同标高矿体及相关蚀变带进行详细的坑道取样,并对深部500m至超过2000m的“第二”成矿富集带的钻孔岩芯样品展开研究,深入分析了成矿流体的特征和矿床成因。这些研究和勘探活动的成功进一步验证了三山岛金矿深部存在丰富的金矿资源,为矿山的持续开发提供了坚实的资源保障。这也为其他类似矿区的深部找矿工作提供了宝贵的经验和参考。

2.2 山东焦家金矿深部找矿案例分析

位于山东胶东半岛西北角的焦家金矿,其“焦家式”蚀变岩型金矿闻名遐迩。在探索这个矿区时,地球物理技术的运用尤为关键,它为我们揭示了那些隐藏在深部的矿体。首先,在早期的区域勘查中,高精度的磁法测量技术像画家手中的笔,细腻地描绘出焦家金矿主断裂带及其分支断裂的分布轮廓,这些地质结构的了解对掌握矿床分布至关重要。同时,重力测量技术则如同矿工的罗盘,精确指出了高密度玲珑花岗岩体与周边岩层之间的界线,从而为判定最具成矿潜力的岩体提供了可靠的科学依据。其次,矿区隐伏矿体定位,在针对矿区特有的地质条件,即第四系地层厚重、矿体隐蔽的情况下,采用了激电中梯测量法(测量线间距1000m)作为关键的勘探手段。在焦家断裂带的下方,我们成功识别并追踪到了一条连续且广阔的视极化率异常带(其值超过8%),该异常带长达800m,宽约200m,与已知的矿体位置完美契合,清晰地指出了深藏的硫化物富集区域,即金矿的实际所在地。为进一步精确描绘断裂带深部的地质结构和低电阻异常体的三维形态,运用了可控源音频大地电磁测深技术(CSAMT),探查深度达到了500m,从而有效确定了主矿体的具体藏匿空间^[3]。最后,焦家金矿区的实践展示了地球物理勘查技术的巨大潜力,尤其是激电法和电磁法的巧妙运用,不仅有效突破了传统厚覆盖层对矿产资源探寻的难题,还实现了对深藏地下矿体的精确锁定,这一技术突破大幅提高了勘探工作的成效,降低了大约30%的钻探费用,为相似地质条件的金矿勘查树立了标杆。

2.3 山东邹平王家庄铜矿深部找矿案例分析

位于闻名遐迩的邹平火山岩盆地内的山东邹平王家庄铜矿床,是与燕山期中酸性侵入岩相联系的典型矽卡岩型铜(钼)矿床。在探索和勘探此矿床的过程中,地球物理勘查技术起到了至关重要的作用,其运用的突出表现可以归纳为几个方面:首先,重力测量技术成为圈定岩体与盆地结构的关键手段,在区域性的调查阶段,布格重力异常图准确指出了邹平火山岩盆地作为一个相对重力低区域的特性,其内则呈现出局部重力低异常的现象。王家庄矿区正好处在一个显著的局部重力低异常区域,其强度大约在-5至-8mGal之间,这一异常现象被解读为地下可能隐藏着低密度的中酸性侵入岩体,例如闪长岩和花岗闪长岩,它们正是形成矽卡岩型铜矿的关键母岩和热能来源。通过重力测量,有效地确定了有利于成矿的岩体空间分布以及盆地的基础构造框架。其次,高精度磁法测量定位矿化蚀变带,在针对矿化蚀变带进行勘探的过程中,位于重力异常所圈定的优势区域内的王家庄地区,经历了大规模的高精度磁法勘查,其比例尺高

达 1:10,000, 该地区独有的矿体及邻近的围岩, 例如矽卡岩等, 展现出了鲜明的中至高强度磁异常特征, 其磁异常值 (ΔT) 普遍超过 300~500nT, 远超一般背景磁场水平, 这些磁异常形态以带状或等轴状展现, 其延伸方向与区域内的构造线及矿化带走向相吻合, 即主要呈北东走向, 此类磁法异常现象, 已成为判定磁铜矿化矽卡岩等矿化蚀变带具体位置和界限的关键指标, 极大地提升了后续勘探工作的针对性和精确度, 为矿产资源的深入挖掘奠定了坚实的科学基础。其中山东地区深部找矿案例详情见下表 1 所示。

表 1 山东地区深部找矿典型案例

矿床名称	主要矿种	主要勘探方法	勘探深度 (m)	主要成果
三山岛金矿	金矿	电法、地震	800	发现深部矿体
焦家金矿	金矿	电磁、激电	800	精准定位深部隐伏矿体
邹平王家庄铜矿	铜矿	重力、激电	600	证实隐伏矿体

3 地球物理勘查技术的发展方向

3.1 深部探测技术提升

随着浅部矿产资源的逐步枯竭, 深部找矿已成为矿产勘查的重点方向。但是目前许多传统地球物理勘探方法在深部探测中的分辨率和准确性受到一定限制, 因此提高勘探深度和精度成为关键发展趋势。首先, 超深地震勘探技术正在不断发展。相比于常规地震勘探超深地震勘探能够穿透更深层次的地壳结构, 提供更清晰的矿体赋存信息。例如, 近年来采用高精度三维地震勘探技术已成功应用于金矿、铜矿等矿床的深部找矿工作。其次, 高精度航空和地面电磁勘探也在不断改进。航空电磁勘探技术利用先进的多频电磁信号进行深部探测能够大范围快速识别导电性矿体。而地面可控源音频大地电磁测深 (CSAMT) 技术已在多个矿区验证了其在探测隐伏矿体方面的高效性。另外, 深地探测装备的发展是提升勘探能力的重要保障。随着大功率信号激发设备和高灵敏度传感器的发展, 地球物理勘探的深度可达千米级甚至更深, 未来有望突破 5000m 以上为深部矿产资源的发现提供技术支持^[4]。总体来看, 深部探测技术的提升将为未来矿产资源勘查提供更加精准和高效的解决方案推动矿产资源的可持续开发。

3.2 多方法联合应用

单一地球物理勘探方法往往存在局限性, 如重力勘探对低密度差异矿体不敏感, 磁法勘探容易受地表磁性干扰影响, 电法勘探在高电阻地区效果较差, 地震勘探成本较高且解释难度大。因此在深部找矿过程中采用多方法联合应用已成为提高找矿精度的关键手段。“重力-磁法”联合勘探适用于高密度、高磁性的矿床。重力勘探用于识别高密度矿体, 磁法勘探用于确定磁性异常区, 两者结合可提高矿体识别的准确性。在山东某铜矿勘探中采用该方法成功圈定了矿体的边界和埋藏深度提高了找矿效率。“电法-地震”联合勘探在寻找深部隐伏矿床中效果显著。电法勘探可用于识别导电异常区而地震勘探能探测地下结构及断裂带。山东某金矿利用可控源音频大地电磁测深 (CSAMT) 技术圈定了矿

体富集区并结合地震勘探精确刻画了矿体赋存形态, 最终钻探验证了矿体的存在。“航空勘探+地面勘探”结合可提高勘探的广度和深度。航空电磁或航磁勘探能快速识别大范围异常区, 再通过地面勘探进行详细测量提高找矿效率。综上, 多方法联合应用能充分发挥不同勘探技术的优势提高深部找矿的成功率, 为矿产资源的科学勘查提供更可靠的技术支撑。

3.3 人工智能与大数据分析

随着地球物理勘探技术的进步勘探数据量迅速增长, 传统的人工分析方法难以高效处理复杂的地球物理数据。所以人工智能 (AI) 与大数据分析正在成为提升找矿效率和精准度的重要手段。人工智能在数据处理中的应用极大地提高了勘探数据的分析效率。机器学习算法可以用于自动识别重力、磁法、电法和地震勘探数据中的异常特征, 避免人为因素带来的误差。例如深度学习模型可以基于历史找矿数据, 训练出高精度的矿体预测模型从而更精准地圈定找矿靶区。大数据技术能够实现多源数据融合, 将地质、地球物理、地球化学和遥感等多种数据进行整合分析^[5]。通过云计算和高性能计算技术, 可以快速处理海量数据提高异常识别的准确性。在山东某矿区的深部找矿工作中研究人员利用 AI 分析历史钻探数据、地球物理异常和矿化信息, 优化了找矿模型成功预测出新的矿化带, 提高了找矿成功率。此外 AI 辅助的智能解释系统使地球物理数据的处理更加自动化。传统的地球物理数据解释依赖专家经验, 而 AI 可以通过训练大量矿床数据自动生成勘探报告, 并提出最优的勘探方案, 大幅减少了数据处理时间和人力成本。

综上, 人工智能与大数据分析正在推动地球物理勘探向智能化、自动化方向发展提高了找矿精度和效率, 为深部矿产资源勘查提供了强有力的技术支持。

4 总结

地球物理勘查技术在矿山深部找矿中发挥了重要作用, 尤其是在山东地区的金矿、铁矿、铜矿等深部资源勘查中取得了良好效果。重力、磁法、电法和地震勘探各具优势, 通过多方法联合应用, 可有效提高深部找矿成功率。未来, 随着勘探技术的不断发展, 地球物理方法将在深部找矿中发挥更加重要的作用, 为矿产资源的可持续开发提供技术支撑。■

参考文献

- [1] 骆翠娟. 浅析地球物理勘查技术在矿山深部找矿中的具体运用[J]. 地球, 2015, 000(012): 149-149.
- [2] 李本龙, 李吉富, 任周洪. 地球物理勘探方法在金属矿山深部找矿中的运用[J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 自然科学, 2023(2): 4.
- [3] 齐勇攀. 地球物理方法在金属矿深部找矿中的应用研究[J]. 华东科技: 综合, 2019(1): 1.
- [4] 李登榜, 党静丽. 金属矿深部找矿中地球物理方法的有效运用[J]. 世界有色金属, 2024(4): 127-129.
- [5] 常振宇. 地球物理勘查技术在矿山深部找矿中的应用[J]. 世界有色金属, 2022(17): 58-60.